高層建築物角隅設計對風載重影響之研究	
內政部建築研究所自行研究報告(100年度)	

# 高層建築物角隅設計對風載重影 響之研究

# 內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 100 年 11 月

PG10004-0343 100301070000G1055

# 高層建築物角隅設計對風載重影 響之研究

研究主持人:劉文欽

共同主持人:李信宏

# 內政部建築研究所自行研究報告 中華民國100年11月

The Architecture and Building Research Institute

RESEARCH PROJECT REPORT

# The effects of corner shapes on the wind load of high rise buildings

ΒY

Wen-Chin Liu

Hsin-Hung Lee

September 30, 2011

目	次	

目 次	٤	• • • •	• • • •	• • • •	•••		•••	•••	•••	•••	• • •	•••	I
表目	次.	••••	••••	• • • •	•••		•••	•••	•••	•••	•••	• • •	III
圖目	次.	• • • •	••••	• • • •	•••		•••	•••	•••	•••	• • •	•••	V
摘要	<u>.</u>	••••	••••	• • • •	•••		•••	•••	•••	•••	•••	•••	IX
ABSTR	ACT	• • • •	••••		•••		•••	•••	•••	•••	••	• • •	XII
第一章	緒	論	••••	• • • •	•••		•••	•••	•••	• • •		• • •	1
第一	一節	研究	緣起	與背	'景		•••	•••	•••	• • •		• • •	1
第-	二節	研究	方法	• • • •	•••		•••	•••	•••	• • •		• • •	3
第二章	文	獸回雇	頁	• • • •	•••		•••	•••	•••	•••	• • •	• • •	6
第一	一節	相關	研究	• • • •	•••		•••	•••	•••	•••	• • •	• • •	6
第.	二節	數據	分析		•••		•••	•••	•••	•••	•••	• • •	13
第三章	研	究方法	ŧ	• • • •	•••		•••	•••	•••	•••	•••	• • •	15
第·	一節	試驗	設施	與量	测	設備	•••	•••	•••	•••	•••	• • •	15
第.	二節	風洞	試驗	狀況			•••	•••	•••	•••	•••	• • •	23
第-	三節	風力	規範	與風	洞	實驗	比車	<b>交.</b> .	•••	• • •		• • •	24
第四章	風	同實驗	<b>金與</b> 約	皆果.	•••		•••	•••	•••	•••	•••	• • •	26
第·	一節	模型	設計	與製	作.		•••	•••	•••	•••	•••	• • •	26
第.	二節	迴轉	盤風	場量	[測]		•••	•••	•••	•••	•••	• • •	27

Ι

	第三	節	Ξ	維	主骨	豐厚	且ノ	51	糸	<b>敗</b> 忿	結	果.	• •	••	• •	••	••	•	• •	••	•	••	••	29
	第四	節	不	同)	角系	禺夕	个型	친구	と材	莫	型台	侧 r	句	力	僗	妻	<b>支</b> 約	告	果	•	•	••	••	37
	第五	節	模	型计	丘山	也可	6ì	由汉	<b></b> 〔	實具	臉、	結	果	••	•	••	••	•	• •	••	•	••	••	44
	第六	節	有	限	高ス	万木	主著	Ęđ	甸-	平于	)	風	墅	分	佈	ī.	••	•	• •	••	•	••	••	46
	第七	節	方	柱	模	型亻	則	句)	風	力	擾	動	係	妻	<b>t</b> J	ţ	驗	與	扶	見	範	之	_H	、較
	• • • •	•••	•••	•••	••	••	••	••	••	••	• • •		•	••	•	••	••	•	• •	••	•	••	••	49
第二	五章	結	論與	與建	議	••	••	••	••	••	• • •	•••	•	••	•	••	••	•	• •	••	•	••	••	57
	第一	節	結	論.	••	••	••	••	••	••	• •	•••	•	••	•	••	••	•	• •	••	•	••	••	57
	第二	節	建	議.	••	••	••	••	••	••	• •	•••	•	••	•	••	••	•	• •	••	•	••	••	58
參;	考書目	Ι.	•••	•••	••	••	••	••	••	••	•		•	••	•	••	••	•	• •	••	•	••	••	59
附針	錄一	期	初幕	事家	學	者	意	見	徵	詢	紀	上錄	ξ.	••	•	••	••	•	• •	••	•	••	••	63
附針	錄二	期	中省	肾查	意	見	回	應	表		•••		• •	••	•	••	••	•	• •	••	•	••	••	65

ΙI

## 表目次

表 4-1	不同高寬比阻力係數結果	30
表 4-2	有限高度圓柱渦流溢放頻率結果整理	43

# 圖目次

圖	1–1	實驗模型架設座標示意圖	5
圖	2-1	二維圓柱模型之阻力係數與雷諾數之關係圖	8
圖	2-2	不同截面型狀之阻力係數與雷諾數之關係	9
圖	2-3	二維圓柱昇力係數與雷諾數關係圖1	0
圖	2-4	三維鈍形體流場示意圖1	2
圖	3-1	風洞實驗模型上視圖1	6
圖	3-2	風力試驗模型照片1	7
圖	3-3	表面風壓模型設計示意圖1	8
圖	3-4	第一測試區入口皮托管1	9
圖	3-5	薄膜式壓力轉換計 2	0
圖	3-6	Validyne 壓力計訊號放大器 CD-23 2	1
圖	3-7	NI 資料擷取系統2	1
圖	3-8	六軸力平衡儀 2	2
圖	3–9	多孔式壓力掃瞄閥模組 2	3
圖	3-1(	〕有限高柱體受風力實驗架設圖2	4
圖	4-1	六力平衡儀與模型連接支架 2	7
圖	4-2	迴轉盤中心速度分佈關係圖 2	8
圖	4-3	迴轉盤中心紊流強度關係圖 2	8

圖 4-4 圓柱平均阻力係數與雷諾數關係圖 29
圖 4-5 方柱在不同雷諾數下平均阻力係數結果 30
圖 4-6 切角為 0.3D 有限高柱體在不同雷諾數下平均阻力係
數結果
圖 4-7 切角為 0.25D 有限高柱體在不同雷諾數下平均阻力係
數結果
圖 4-8 切角為 0.2D 有限高柱體在不同雷諾數下平均阻力係
數結果
圖 4-9 截角距離 0.2D 之圓弧角隅有限高柱體在不同雷諾數
下平均阻力係數結果34
圖 4-10 截角距離 0.25D 之圓弧角隅有限高柱體在不同雷諾
數下平均阻力係數結果 35
圖 4-11 截角距離 0.25D 之圓弧角隅有限高柱體在不同雷諾
數下平均阻力係數結果 36
圖 4-12 方柱體在不同雷諾數下平均側向係數結果 37
圖 4-13 方柱體在不同雷諾數下平均側向係數結果 38
圖 4-14 模型高度為 4D 於不同入口風速下不同切角距離模型
之平均側向力係數結果 39
圖 4-15 模型高度為 8D於不同入口風速下不同切角距離模型

VI

之平均側向力係數結果 40
圖 4-16 模型高度為 4D 角隅切角為圓弧時側向力係數與切角
距離關係圖 41
圖 4-17 模型高度為 8D 角隅切角為圓弧時側向力係數與切角
距離關係圖 42
圖 4-18 高度 4D 之方柱油流實驗結果 44
圖 4-19 高度 4D 圓柱近地面油流實驗結果 45
圖 4-20 高度 4D 方柱壓力孔位分佈圖 46
圖 4-21 4D 方柱背風面壓力分佈結果 47
圖 4-22 4D 方柱迎風面壓力分佈結果 48
圖 4-23 4D 方柱側面風面壓力分佈結果 48
圖 4-24 高寬比為 4 之方柱擾動係數結果 49
圖 4-25 高寬比為 8 之方柱擾動係數結果 50
圖 4-26 高寬比為4 削角距離 0.2D 之切角模型擾動係數結果
圖 4-27 高寬比為8 削角距離 0.2D 之切角模型擾動係數結果
圖 4-28 高寬比為 4 削角距離 0.2D 之切角模型擾動係數結果

圖	4–29	高	寬	比	為	8	削	角	距	離	0.	33	SD	之	切	角	模	型	擾	動	係婁	文結	5
	果.	•••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	•••	54	1
圖	4-30	高	寬	比	為	8	削	角	距	離	0.	33	SD	之	圓	弧	角	隅	模	型	擾重	力伐	k
	數結	果	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	•••	55	5
圖	4-31	高	寬	比	為	4	削	角	距	離	0.	33	SD	之	圓	弧	角	隅	模	型	擾重	力伐	k
	數結	果	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	••	• • •	56	3

#### 摘要

關鍵詞:風洞實驗、高層建築、角隅設計、阻力係數、側向力係數 一、研究緣起

高層建築與風力之交互作用相當複雜,當風流經結構物時,由於流體 本身的速度、紊流強度及流體流經結構物表面形成分離現象導致下游流場 有尾流的產生,會使得結構物發生各種形式的振動。此外,結構物振動也 會影響附近的風場,改變風作用於結構物上的壓力,進而又使結構物的振 幅產生變化,此種耦合現象稱為結構與風力互制之氣動力效應。為了探討 此複雜之行為,作為未來大樓設計參考,本研究將針對不同高度與角隅設 計的外型,對阻力及側向力係數的影響變化進行相關探討。

二、研究方法

本研究風洞實驗模型規劃有高寬比為4及8的柱體模型,除了基本之 圓柱與方柱外,還包含了6種不同角隅外型設計之模型,風力實驗將規劃 一系列雷諾數範圍進行試驗,並利用六力平衡儀進行模型風力實驗量測。 本實驗模型架設於內政部建築研究所風洞實驗室之第一測試區的第一迴 轉盤上,測試區來流的流場狀況為均勻流場,參考風速為測試區入口架設 之皮托管所量得風速,並透過NI的資料擷取系統將模型在不同方向的受 風力數據同步蒐集,之後將進一步轉換及分析。

另一方面也進行模型表面風壓實驗量測,利用壓力掃瞄閥針對圓柱與 方柱模型進行表面風壓的量測,並將風壓數據與風力數據進行比對研究。

最後會將風洞實驗所得之數據也將與風力規範中所得到之結果比 對,並分析其中差異之原因。

#### 三、重要發現

(1) 由方形柱實驗結果發現,其阻力係數以及側向力係數均比規範計算

摘要

所得到的數值為小。因本研究之實驗在均勻流場下進行,規範內是 依據地況模擬之邊界層流所推測之公式,相較之下規範內之結果偏 向保守。

- (2) 削角均會減少阻力與側向風力的影響,其中又以圓角造型比切角效 果較好。於削角隨著距離變大,切角與圓弧角度模型之阻力係數相 差變小,其主因為當削角距離較大時,兩種模型之外觀都較為接近 圓柱,其阻力係數的差異也較小。
- (3)以目前風洞實驗阻力與側向力係數結果而言,在高寬比為4的模型 在相同實驗雷諾數條件下較高寬比為8時低,其主要原因為在較矮 的模型,其周圍流場的3維性效應相對明顯。

#### 四、主要建議事項

1. 立即可行之建議:

建立不同角隅外型模型之實驗數據資料庫,進行數據誤差及可靠度分析。

主辦機關:內政部建築研究所

- (1) 目前數據量尚嫌不足,因為不同外型之模型量較多,需要較多實驗數據 量進行分析。
- (2)目前只進行均勻流場量測,但實際流場狀況為紊流場狀態,可增加紊流 場及不同邊界層流場型態實驗數據。

2. 長期性建議:

建議增加台灣地區風場情況,並修正風力規範內相關資料。

主辦機關:內政部建築研究所

Х

- (1)進行風場資料庫的累積與收集,並將風洞實驗所得到之數據資料進行比 對及分析,並歸納出統計資料。
- (2)引用台灣地區的風場資料,針對風力規範內相關方程式進行比較與建議 修正,使其更貼近實際應用。

### ABSTRACT

Keyword: Wind-tunnel test; High-rise building; Coner design; Drag coefficient; Lift Coefficient

#### I. Introduction

The interaction between high-rise buildings and wind force is very complicated. While wind flows through buildings, because of the fluid velocity, the turbulence intensity and the vortex shedding generated downstream, the structures may experience different kinds of vibrations. In addition, the vibrations of the structures may further affects the nearby wind field which also changes the wind induced pressure on the structures, and hence the responses of the them. This coupling effect is called the aerodynamic effect. In order to systemically investigate this complex behavior, this research was focused on the effects of the height and corner shapes to the drag and lift coefficients.

#### II. Research Methods

This research was majorly based on the wind tunnel test. The models employed were of 6 different corner shapes as well as round and square. The height/width were 4 and 8. The Reynolds number were from  $3.5*10^4$  to  $1.9*10^5$ . The tests were carried out in the first test section of the ABRI wind tunnel. The incoming wind flow was uniform.

A 6 component force balance was employed to measure the wind forces of the models. A ScaniValve system was also used to measure the surface pressure of the additional square and round models for

XII

the data comparison.

Finally, the obtained data was mathematically analyzed and the results were compared with the building codes.

#### III. Conclusions

- i. According to the test results, the drag coefficients and the lift coefficients of the square tubes were smaller than those derived from the building codes. Since the test was held in the uniform flow, therefore, the codes can be inferred to be more conservative.
- ii. The corner modification can all reduce the drag force and the across wind force. The round corner shapes were more effective than the cut corner shapes. With the distance of the modification getting longer, the difference became smaller. This can be explained that both the modifications became approximate to circular.
- iii. Under the same Reynolds number, the drag coefficient and the lift coefficient of the models with the aspect ratio of 4 were smaller than those with the aspect ratio of 8. This implies that the three dimensional effect was more obvious on the shorter models.

#### IV. Suggestions

1. Immediately applicable:

Develop a data base of the test data for more corner shaped models under different flow fields. Proceed the accuracy and reliability analysis. Host Agency : ABRI

- a. More different shapes should be included to enhance the data base.
- b. Tests in the turbulence flow and/or with the atmospheric boundary layer should be conducted to simulate the real wind flow of the buildings.

#### iv. Future applicable:

Consider the wind flow of Taiwan and revise related current codes.

Host Agency : ABRI

- a. With the accumulation of the test data, the empirically equations should be statically derived.
- b. Considering the wind data of Taiwan, the current codes can be revised based on the derived equations.

#### 第一章 緒論

#### 第一節 研究緣起與背景

#### 壹、研究緣起

近年來,由於國內經濟的快速成長和營建技術水準的大幅提高,加上 台灣地區地狹人稠,高層建築紛紛拔地而起,這些高樓結構物大都使用質 量輕、強度高的建築材料,且具有高寬比大、自然振動頻率低及阻尼低之 特性。由於這些物理特性,使得風力作用成為地震之外,在結構設計階段 所必須考慮的重要因素,特別是地處西大平洋颱風區,風害頻繁的台灣。 國內許多超高層大樓,其側向力的設計皆取決於強風作用下結構安全性與 舒適性之考量,並非以地震力做為控制因素,由此可見風力效應在高樓結 構設計的重要性。

高層結構物與風力之交互作用相當複雜,當風流經結構物時,由於風 本身的速度、紊流強度,以及風於結構物表面形成分離現象導致尾流的產 生,皆會使得結構物發生各種形式的振動。此外,結構物振動也會影響附 近的風場,改變風作用於結構物上的壓力,進而又使結構物的振幅產生變 化,此種耦合現象稱為結構與風力互制之氣動力效應。而現在建築物除了 結構材料上考量外,造型之美觀與變化也是相當重要的,使得外觀造型亦 朝向多元化設計,因此建築物幾何外型構造在受風力的影響逐漸重要,成 為風工程相關研究重要的課題。

橫風向流場結構主要有渦流溢放,此亦是造成模型橫向壓力擾動原 因之一,模型角隅外型改變將會造成表面分離位置變化,會進一步影響到 側向渦流溢放的流場結構,因此模型側向受風力及壓力擾動變化會有所影響。本研究將利用前述之不同角隅設計之模型進行受風力試驗,其目的在

1

瞭解模型角隅外型改變下,側向渦流溢放結構是否會有較大流場變化狀態,側向流場擾動是造成高層建築舒適感及主體結構疲勞的一個重要因素,並針對現行風力規範內相關結果進行比較與探討。

#### 貳、研究目的

為考量不同切角建築物受風所產生之橫風向氣動力特性之反應本研 究將採用風洞實驗的方式進行相關研究,初步規劃的實驗模型有限高之方 柱模型,在方柱的四個角隅改變不同造型,模型寬度15cm為特徵長度D, 角隅目前規劃有切角與導圓角兩種型態(如圖1-1所示),風洞實驗初步 進行模型受風力實驗,觀察在不同模型角隅外型、雷諾數與模型高寬比影 響因素下,其影響因子與阻力及側向力之間變化關係。

本研究收集相關圓柱與方柱文獻分析比較後發現,曲面與平面模型在 表面分離氣動力流場特性有極大的差異,而本研究模型內有分為曲面及平 面不同造型,將會進一步觀察在曲面與平面在流場分離時會因為橫風向流 場變化而進一步改變其阻力係數。

高寬比影響也是研究的另一個觀察方向,因為本研究實驗模型為有限 高度,許多文獻都針對2維柱體進行探討,當3維柱體時,其氣動力特性 會相對複雜,流體越過頂部的氣流會對阻力及側向風力係數造成影響。當 模型高度越高其表現出的氣動力特性應該較為接近二維柱體的氣動力模 式,所以風洞實驗結果將對此一方向加以驗證。

入口風速的改變會使的雷諾數發生變化,雷諾數在次臨界及臨界區域 會有所不同,本研究將了解在雷諾數效應在研究之風洞實驗中之重要性。

#### 第二節 研究方法

本研究之主要工作包括測試模型設計與製作、受風力與表面風壓試驗及數 據分析與風力規範之比較等3階段,茲將各階段內容分述如後:

(1) 風力模型製作

本研究利用利用壓克力材料進行風洞試驗模型製作,所規劃之模型寬度為 15公分,模型高度則有 60公分與 120公分兩種形式。將模型角隅進行不同進 行切角與弧形不同方式設計,而本研究主要探討方向為角隅形狀不同對於阻力 係數及側向擾動鋒利之影響,模型將分為風力及壓力兩種實驗型態設計製作, 風力模型將在模型內部輔以加勁版增加模型剛度,壓力模型將設計成 15公分× 15公分×15公分之立方體為一單位,根據實驗所需不同高寬比進行組合。

#### (2) 風洞實驗

本研究風洞實驗共分為風力實驗與風壓量測雨部分,風力實驗將會使用 16 組不同高寬比及角隅外型之風力模型進行試驗,實驗設定之雷諾數由約為5 ×10<sup>4</sup>逐步增加至約為 3×10<sup>5</sup>,利用六力平衡儀進行模型受風力量測。風壓試驗 將利用壓力掃瞄閥對模型表面風壓進行量測,本研究將以 15 公分×15 公分×15 公分之立方體為一個單位,製作每個不同角隅結構模型將製作 10 個立方體模 型,將其中一個單位模型表面進行壓力孔洞設置,並連接至壓力掃瞄閥進行平 均風壓及擾動風壓量測。本實驗模型架設於內政部建築研究所位於歸仁環境風 洞之第一測試區的第一迴轉盤上,測試區來流的流場狀況為均勻流場,參考風 速為測試區入口皮托管所量測之風速,並利用入口風速計算出雷諾數。

(3) 數據分析

本研究數據分析方式將風洞實驗之時序列電壓數據,利用校正矩陣轉換成 風力資料,進行平均及擾動風力計算。表面風壓的實驗進行結果會將壓力掃瞄 閥取得資料,進行平均風壓計算,並利用風壓係數進行面積積分,將與六力平 衡儀所取得之阻力係數進行比較。

3

#### 研究步驟

1. 風洞實驗模型設計及製作

①文獻資料收集及數據比較。

②設計風力模型的尺寸比例。

③風力模型剛性強度設計及製作。

④風壓模型設計及製作。

2. 風洞實驗及數據分析

①均勻流場下有限高度柱體受風力實驗。

②均匀流場下模型表面風壓實驗量測。。

③將實驗結果與風力規範進行比較。

④數據整合及資料分析。

⑤結論與成果報告。



## 圖 1-1 實驗模型架設座標示意圖

(資料來源:本研究整理)

#### 第二章 文獻回顧

近年來由於營建技術的進步,國內高層建築物大量的出現。由於目前 起高層建築物特色多採用質輕堅韌的鋼骨結構,結構系統阻尼較傳統混凝 上構造為低,且因其高度高,因此構造物的柔性增加,建築物受風作用行 為的考量即顯得更加的重要。通常建築物的橫斷面多為非流線形,風場中 於建築物之下風處常產生渦散現象(vortex shedding),對建築物而言則 導致了非恆定之風荷重,復因其結構動力特性而導致振動或位移反應之發 生。對高層建築物而言,由於其相對勁度較低,在順風 (along-wind) 向、 橫風 (across-wind) 向及扭轉 (torsional) 向位移反應相對地較大。因 此,在風力設計觀點中,動態位移成為評估使用者舒適度(comfort ability)之重要指標之一。

當流體流經一簡單外型柱體時,會在柱體下游產生交互作用產生渴流 溢放流場結構(Vortex shedding),在柱體後方產生一個尾流區域(wake region),近年來有許多研究針對圓柱或矩型柱體外型基本流場結構進行 一系列探討。早年許多研究都是針對二維鈍形體流場結構研究,已將針對 簡單外型流場結構特性已有相當的結論。近年來因量測設備及技巧進步已 開始針對三維鈍形體流場進行觀察與研究,而且目前世界上主要之風力規 範已經針對幾單之幾何外型昇阻力及風壓係數已有一定估算方程式,而本 研究將針對外型的不同進行更深入的研究。

#### 第一節 相關 研究

雷諾數代表慣性力與流體黏滯力之比值, 雷諾數小時留場擾動因黏滯 力小而衰減, 則為層流。反之, 雷諾數大時流場不穩定則擾動增加, 稱之 為紊流。一般所探討之大氣紊流邊界層之雷諾數為10<sup>7</sup>~10<sup>8</sup>, 要在風洞內

6

模擬出相似之高雷諾數有一定難度;但因在高雷諾數下紊流具有雷諾數相 似性特徵(Reynolds number similarity),當雷諾數超過一臨界值(10<sup>4</sup>) 流場結構將不受到雷諾數之影響。紊流的無因次頻譜將依照 Kolmogorov 理論,當雷諾數大時,紊流頻譜(Power spetrum)便有慣性次階(Inertial subrange)之特徵而具有相似性。所以在風洞內雷諾數高於10<sup>4</sup>時具有相似 性,且流場及鈍形結構物阻力係數將可由相似性進行分析,可將風洞實驗 所得之結果應用至實際流場中。

當風通過鈍形結構物會造成流場變化,並在結構物表面產生分離、再接 觸、尾跡、與渦流震盪等氣動力現象。氣流流過二維物體,將物體表面壓力激 分累計可得物體總力,該力可分解成水平力,即阻力(Drag force)FD和側向 風力,即側向力(Lateral force)FL。並可將物體所受之阻力及升力以無因次

 $C_{D} = \frac{F_{D}}{\frac{1}{2}\rho U^{2}A}$  (Drag coefficient)及側向力力係數  $C_{L} = \frac{F_{L}}{\frac{1}{2}\rho U^{2}A}$  (Leternal coefficient), # 中人力 你还有美美的影响

2<sup>pc A</sup> (Lateral coefficient),其中A為與流向垂直之投影面積,其 中阻體之阻力與側向力與物體形狀、風攻角、雷諾數等相關。而二維圓柱其阻 力變化與雷諾數關係如圖 2-1 所示,在臨界雷諾數時,其阻力係數將會有明顯 下降,因此本研究之實驗雷諾數範圍將由次臨界流場至臨界雷諾數。



圖 2-1 二維圓柱模型之阻力係數與雷諾數之關係圖

(資料來源: Scructon and Rogers, 1971)

自從 Von Kármán 對二維圓柱後方渦流溢放現象提出解釋,鈍形體下 游尾流區流場就是很多研究注意的一個課題。流體流經過一個鈍形體會在 表面形成流體分離的現象,形成分離的剪力層(separation shear layer),而造成渦流溢放的現象。渦流溢放頻率與自由流速及特徵長度關 係為一個無因次化常數稱為 Strouhal Number 以 St 表示之。 Schlichting(1979)曾經提到當雷諾數在 10<sup>3</sup>~10<sup>4</sup>之間,圓柱的 St 值約為 0.21,而 0kajima(1982)也提出方柱類似的結果 St=0.13,而渦流溢放的 現象會造成鈍形體升、阻力週期性的變化,進而造成鈍形體的因渦流溢放 而震動。

Scurton(1971)在其研究中針對不同角隅外型之矩型柱體阻力係數進 行討論,由其研究結果發現,在角隅不是銳角時,其阻力係數與雷諾數關 係將會接近圓柱有一臨界雷諾數的產生(如圖 2-2 所示)。

8



圖 2-2 不同截面型狀之阻力係數與雷諾數之關係

(資料來源: Scrton and Rogers, 1971)

Yamaguchi (1971)、Savkar & Liztinger (1982)及多名學者針對2 維鈍形體昇力係數與雷諾數之間關係進行一系列相關研究與探討,發現2 維圓柱體在臨界雷諾數時,其昇力係數會有明顯的變化(如圖 2-3 所示)。





(資料來源:Blevins, 1993)

Bosch & Rodi (1996)在水槽中以雷射測速儀(LDA)量測在邊界效應影響下,方柱體後尾流的平均速度及渦度場的分佈,其雷諾數為 Re =2.2× 10<sup>4</sup>,邊界層厚度 d 為 0.13D,在此 D 為方柱體的高度,其結果發現間隙比 S/D < 0.25 時,渦漩逸散便會停止; S/D < 0.5 時,渦漩逸散受邊牆效 應而間歇性出現,並無固定之渦散頻率,且柱體下方渦紊流被拉長,渦心 軌跡線偏離邊牆而成傾斜; S/D > 0.5 時,渦漩逸散不受邊牆效應而有固 定之渦散頻率

建築物為一個有限高度的鈍形體,而一般有關風力規範中所設計計算 的模型大多為圓柱或方柱,所以有限長度的鈍形體流場空氣動力特性是很 重要。當流體通過一個有限高度的鈍形體,其氣流的定性特性大概如下描 述:

尾流(wake)區:當流體流經過鈍形體時,渦流(Vortex)會由兩側分

10

離散逸,會形成尾流區。在該區域內氣流捲曲的型態及渦流逸散的狀況會 因建築物的寬高比(Aspect ratio)及深寬(矩形截面)比(depth ratio) 影響,對於深寬比較小的鈍形體其尾流區域中有較強垂直方向的渦流,對 於寬高比較大的鈍形體,其尾流區會形成較強的側向渦流。

背風面下衝氣流(down wash):在流體越過鈍形體上方,因為受到在 鈍形體背後負壓的影響,氣流會向下流動,約在3-6個特徵長度(H)後 觸及地面(L<sub>R</sub>)。

上游涡流(upstream vortex):當氣流遇到鈍形體時,除了部分氣流會越過頂,有一部份氣流會沿著建築物的迎風面往下產生一個渦流,形成一個負壓的區域。

頂部流場分離區域:當流體越過鈍形體頂部,在迎風面與頂部的交接 角為一個銳緣(sharp edge),流體會產生分流的現象。在高雷諾數的情 況下,流體在鈍形體的頂部產生一個尾流區,使鈍形體頂部的流場更加紊 亂。



#### 圖 2-4 三維鈍形體流場示意圖

(資料來源: Holmes, 2001; Simiu & Scanlan, 1996)

Lee(1975)及 Cheng 等人(1992)曾對低紊流強度之均匀流場中量測方 柱體下游的渦流溢放頻率,其實驗的雷諾數約為 1.76×10<sup>5</sup> 至 3.17×10<sup>5</sup>所 得結果 St 約在 0.122~0.133,其阻力係數 Cd 約在 2~2.2。

Sakamoto與Arie(1983)曾經提出圓柱與方柱在紊流邊界層中渦流溢 放的觀察,分別使用不同寬高比的模型置入紊流邊界層中,可以找出 St(Strouhal No.)與模型寬高比之間的關係,而且其結果會因雷諾數的不 同而改變。

Sitheeq(1997)等人將 10cm×10cm×25cm 鈍形體置於模擬不同流況的 大氣邊界層,以壓力掃描閥量取表面瞬時壓力、擾動壓力係數及平均壓力 等,在不同流況下量測風場紊流強度和積分尺度對模型上方及側向再回復 現象。

Farivar(1981)等人針對有限高度的圓柱流場進行相關實驗,其高寬 比由 2.78-12.5,實驗雷諾數為 7×10<sup>4</sup>。所得到結果認為在接近圓柱頂部 時,後方流場會受到頂部流場嚴重的影響。

Amin 及 Ahuja (2010)指出高層建築結構不同方向風力而造成建築 物本身振動或扭轉效應,而且在不同角隅設計將有不同氣動力的表現特 性。

Yin 等人(2003)提到高層建築中風所造成建築物的氣動力在結構設計上是必須要考慮因素,文中不同高寬比及不同外型模型所得到的不同方向之風力進行分析。

Emre ILGIN 與 Halis GÜNEL (2007) 指出高層建築在設計之初就必 須把風力影響因子納入,文中提及側向風力引發之建築振動會改變渦流溢 放的流場結構並且進一步討論兩者之間的關係。

#### 第二節 數據分析

本研究有限高度矩型柱體風力數據利用六力平衡儀進行量測,並將所 得電壓訊號轉換成模型所受的風力,並計算的平均與擾動性之阻力/側向 力係數。各係數定義如下:

平均阻力係數 
$$C_{_D} = \frac{\overline{F_D}}{\frac{1}{2}\rho U^2 DH}$$
 (2-1)

擾動阻力係數 
$$C_D' = \frac{\sqrt{F_D'^2}}{\frac{1}{2}\rho U^2 DH}$$
 (2-2)

平均側向力係數 
$$C_L = \frac{\overline{F_L}}{\frac{1}{2}\rho U^2 DH}$$
 (2-3)

擾動側向力係數 
$$C_L' = \frac{\sqrt{F_L'^2}}{\frac{1}{2}\rho U^2 DH}$$
 (2-4)

本研究除了利用風洞實驗所量測之實驗數據外,也會利用風力規範 中,針對圓柱與方柱之阻力係數及擾動側向力係數進行分析與比較。且會 透過時序列資料,將進一步觀察側向力擾動變化與阻力擾動變化在不同模 型外型下變化情況。
# 第三章 研究方法

#### 第一節 試驗設施與量測設備

本研究之風洞實驗在本所之位於台南歸仁風洞實驗室進行,該風洞本 體平常垂直向的封閉式風洞系統,總長度為77.9m,最大寬度為9.12m, 最大高度為15.9m。本風洞有兩個測試區,第一測試區截面積寬4米,高 度為2.6米,內部有可調式上蓋板,可依據所需不同邊界層厚度變化進行 調整,最高可以調整至3米高。第一測試區內設置有3個迴轉盤,可進行 不同風攻角模型之氣動力試驗,其角度旋轉最小精度可達0.1度。第二測 試區截面積寬度為6米,高洞為2.6米,如同第一測試區設置有可調式上 蓋板,可依據所需不同邊界層厚度變化進行調整,最高可以調整至3米 高,本試驗區域最主要可進行橋樑或其他大跨度模型之氣動力試驗,測試 區內設置有一迴轉盤可進行模型風攻角之調整。

本研究之風力模型為截面為方柱、圓柱及不同角隅設計截面之壓克力 模型,模型之高寬比計有4與6兩種,總計一共有16種不同外型之風洞 實驗模型。本研究角隅改變的外型主要是以方柱為基礎,將四個角隅以不 同比例的切角及圓弧做為模型設計。為增加模型之剛度於柱體不同高不處 以壓克力板加勁版固定,主要目的為模型進行風力試驗時不會彎曲變形, 進而影響到試驗本身的準確性(如圖3-1及3-2所示)。模型受風力實驗 來流狀況為均勻流,實驗之雷諾數範圍規劃為5×10<sup>4</sup>至3×10<sup>5</sup>。模型柱體 投影寬度(D)為15cm,柱體高度(H)有為60公分與120公分兩種。模 型底面與六力平衡儀連接,量測模型在不同流速狀況下所受的X-Y-Z 三個 方向的風力與力距並利用NI的資料撷取系統進行數據時序列資料同步蒐 集。

15



圖 3-1 風洞實驗模型上視圖

(資料來源:本研究整理)



(A) 高寬比為4改變角隅設計柱體



(B) 高寬比為8改變角隅設計柱體



(C)高寬比4及6圓柱及方柱

# 圖 3-2 風力試驗模型照片

(資料來源:本研究整理)

本研究另一個實驗為量測表面風壓,規劃設計可拆裝式風壓模型進行 試驗,風壓模型設計為15公分×15公分×15公分立方體模型(如圖3-3 所示),在不同高寬比及量測不同高度進行組合與量測,主要目的可將壓 力孔設置於一個單位立方柱體上,利用較少量之壓力掃瞄閥進行局部高解 析度壓力分佈之量測,且在量測不同高度之表面壓力分佈時,可藉由有壓 力孔設置之模型與無壓力孔至之模型進行排列組合就可以達成表面平均 壓力之觀察。



#### 圖 3-3 表面風壓模型設計示意圖

(資料來源:本研究整理)

本研究風洞實驗之參考風速利用風洞第一測試區入口處所架設 90 度 皮托管進行量測(如圖 3-4 所示),利用壓力管將風速壓力資料傳送至儀控 室中,並配合薄膜式壓力計(VALIDYNE Differential Pressure Transducer; DP103)將類比資料轉換成數位資料,利用 NI 的資料擷取系 統搭配 LABVIEW 程式進行壓力資料與風速資料轉換,所測得的入口風速為 計算出本研究試驗之雷諾數參考風速,模型受風力及表面風壓試驗將利用 六力平衡儀與壓力掃瞄閥進行量測,模型架設於風洞第一測試區第一迴轉 盤,本研究風洞實驗所使用之量測儀器介紹如下:

(1) 皮托管

本實驗中採用皮托管進行來流平均風速之量測,由皮托管所量測到的 壓力差值,利用伯努利方程式(Bernoulli equation),即依據後式計算出 相應之風速。

$$U = \sqrt{\frac{2\,\Delta p}{\rho_{air}}}\tag{3-1}$$

同時將所得之風速進行無因次化雷諾數的計算,

$$\operatorname{Re}_{D} = \frac{\rho U D}{\mu}$$



# 圖 3-4 第一測試區入口皮托管

(2) 壓力轉換器

入口風速量測是利用皮拖管經由壓力管將壓力差傳遞至儀控室,然後 透過薄膜式壓力轉換器(pressure transducer, VALIDYNE DP103-18, 参 見圖 3-5)將壓力資料以數位形式輸出。量取兩端壓力管輸入之壓差,以 類比電壓訊號輸出,在電磁感應線圈造成不同電感,利用電橋變化出不同 電壓,搭配訊號放大器 CD-23 調整電壓訊號輸出,將輸出電壓設定在-10V ~+10V 之間。壓力轉換器若與皮托管(pitot tube)連接,經率定後可以 量測流場平均速度。

薄膜式壓力轉換器率定應配合壓力轉換器內部的壓電膜片的受壓範 圍,依照其膜片可承受範圍,利用壓力校正器(DPI 610)連接兩條短油管 傳輸壓力給薄膜式轉換器之動壓與靜壓。壓力由小至大,直到可承受之最 大壓力,透過資料擷取系統將所測之電壓值轉換存檔後,其迴歸率定曲線 呈線性型態。



### 圖 3-5 薄膜式壓力轉換計



圖 3-6 Validyne 壓力計訊號放大器 CD-23

(資料來源:本研究整理)

(3) 資料擷取系統

實驗所量得之類比訊號係經由NI CompacDAQ-9172 擷取後作類比數位 (analog-digital)轉換。本系統最高可連結 8 個模組,配合 4 個 NI 9215 模組,最高可串接 32 個頻道。本模組最高採樣頻率為 100 kHz,具有 16-bit 之解析度,精確度(accuracy)高達 0.02%。數位化的訊號以大於 3.2 MS/s 的速度經由 USB 界面傳至電腦,進行資料儲存與統計運算。



# 圖 3-7 NI 資料擷取系統

(4) 六力平衡儀

本研究所使用的高頻六力平衡儀(high frequency six-component force balance)乃利用應變規(strain gage)將物體所受之外力轉換成電 壓。實驗時將高層建築模型固定在六分力平衡儀的感應器上,使整個系統 呈現剛硬不易產生變形變位之特性,使得模型所承受之風力能完整傳遞至 感應器。經由應變規受力形變所產生的變量,換算出物體所受到的順風向 力(along-wind force;  $F_x$ )、横風向力(across-wind force;  $F_y$ )、垂直 向力(vertical force;  $F_z$ )、順風向扭矩( $F_{Mx}$ )、横風向扭矩( $F_{My}$ )及垂 直向扭矩( $F_{Mz}$ )。



圖 3-8 六軸力平衡儀

(資料來源:本研究整理)

(5) 壓力掃描閥

壓力量測管線系統為內徑 1mm、長 25 公分之 PVC 管,管線系統連接 至電子式壓力掃瞄模組上的壓力輸入埠,電子式壓力掃瞄器以 64 個量測 孔為一模組(如圖 3-9 所示),壓力量測模組安置於模型內部其,解析度達 16bits,最大採樣頻率為500Hz,傳輸介面為USB,,每次實驗操作前皆 先將各模組之壓力感測器歸零,以得正確之壓力變化。



圖 3-9 多孔式壓力掃瞄閥模組

(資料來源:本研究整理)

#### 第二節 風洞試驗狀況

本研究風力實驗將於所內位於歸仁風洞實驗室進行,測試模型為高寬 比為4及8方柱、圓柱與不同角隅設計之柱體共計16種不同模型,實驗 位置在風洞第一測試區之第一迴轉盤,模型下方連接六力平衡儀(如圖 3-10所示),並利用 NI 的資料擷取系統進行數據擷取,風力實驗規劃數 據擷取速率為1024HZ,取樣時間為40秒,設定之風扇轉速為50rpm、 60rpm、70rpm、80rpm、90rpm、100rpm、200rpm及300rpm以上,所對應 之平均雷諾數範圍約為5×10<sup>4</sup>至3×10<sup>5</sup>。風洞實驗的入口流場為均勻流, 並且改變不同雷諾數試驗,其目的為瞭解雷諾數的效應。

23



圖 3-10 有限高柱體受風力實驗架設圖

(資料來源:本研究整理)

# 第三節 風力規範與風洞實驗比較

本研究除了進行風力試驗外,也針對內政部所頒佈風力規範內昇阻力 係數等相關規定與風洞實驗進行比較。由風力規範內針對有限高度圓柱及 方柱之側向力(橫風向風力)估算為:

$$W_{lz} = 3q(h)C_{L}A_{Z}\frac{Z}{h}g_{L}\sqrt{1+\frac{1}{\beta}R_{LR}}$$

AZ 為高度 Z 處迎風面面積 gi: 横風向尖峰因子

RLR::横風向共振因子

 $C'_{L} = 0.0082(L/B)^{3} - 0.071(L/B)^{2} + 0.22(L/B)$ 

適用之矩型柱體為<sup>3≤h</sup>/(LB)≤6

圓柱的估算為:

$$W_{rz} = U_r^2 \frac{Z}{h} C_r A$$

Ur=5faDm為渦散共振風速 Cr:共振風力係數

A:投影面積

圓柱斷面建築物需满足 $7 \le H/D_{ga}V_h \ge 4.2f_aD$ 

風洞實驗將有高度為 4D 與 8D 之方柱與 4D 圓柱在不同入口流速下進 行試驗,分別計算出阻力係數與擾動昇力係數,再與規範中估算值之大小 進行比較。

# 第四章 風洞實驗與結果

#### 第一節 模型設計與製作

本研究目前針對所規劃之風力試驗模型為高寬比為4與8之方柱、圓 柱與角隅為切角及圓弧16種模型(如圖 3-1及3-2所示)。在5月份通 過期初審查後進行模型細部設計及委由專業模型廠商製作,另一方面針對 不同角隅外型模型與六力平衡儀之間之支撐架也進行相關設計,並完成加 工製作(如圖4-1所示)。目前已經完成風力試驗模型及支撐架製作,並 針對有限高之圓柱與方柱模型進行部分雷諾數風力試驗。

本研究之風洞實驗還包含表面風壓量測,而風壓實驗模型因結構與細 部設計上較為複雜,且製作上較為費時,目前以與廠商進行細部討論與製 作上修正評估作業。並針對表面之壓力孔位置進行規劃,在不影響模型結 構下,預計使用之壓力孔數約為90至100個,將分佈於迎風面、背風面、 側向及上表面等位置,將使用2個壓力掃瞄閥模組。

本實驗量測的迫近流場係利用內政部建築研究所風洞實驗室之環境 風洞模擬出都市地形大氣邊界層。依據前人所研究之物理參數值,利用前 章所描述之實驗設計與配置模擬出所需要的迫近流場,並以量測出其流場 特性。



### 圖 4-1 六力平衡儀與模型連接支架

(資料來源:本研究整理)

# 第二節 迴轉盤風場量測

於進行模型受風力及表面風壓實驗量測前,將針對第一測試區第一迴 轉盤位置處進行基本風場的量測。利用二維熱線探針配合移動機構針對迴 轉盤上方的流場基本性能進行量測,數據取樣頻率為512HZ,每一個量測 位置取樣時間為10秒鐘,之後進行平均風速及擾動風速分佈計算,其結 果如圖 4-2 及 4-3 所示。由結果上可以發現其邊界層厚度約為5-8 公分 (0.3D~0.5D),在邊界層以外自由流之區域其紊流強度小於1%。



圖 4-2 迴轉盤中心速度分佈關係圖

(資料來源:本研究整理)



# 圖 4-3 迴轉盤中心紊流強度關係圖

### 第三節 三維柱體阻力係數結果

利用高度為 60 工分級 120 公分(高寬比為4 與 8)之不同外型柱體 進行受風力量測,實驗過程雷諾數將由低至高進行試驗,阻力係數結果將 依依呈現說明。圖 4-4 為圓柱的平均阻力係數結果,由圖上可以發現高度 為 8D 之圓柱其平均阻力係數約為 0.8,而高度為 4D 之阻力係數約為 0.6 ~0.72,而本研究將之前相關文獻中針對不同高寬比之平均阻力係數結果 整理如表 4-1 所示,由風洞實驗結果與文獻相關研究中發現,本研究阻力 係數結果範圍在文獻相近的高寬比結果範圍內。



圖 4-4 圓柱平均阻力係數與雷諾數關係圖

	Re	A. R	Cd
		•	
Summer, et. al (2004)	6×104	3	0.61
Summer, et. al (2004)	6×104	5	0.74
Summer, et. al (2004)	6×104	7	0.78
Taniguchi et al. (1981)	3×103	5	0.69
Sakamoto & Oiwake(1984)	6×104	3	0.68
Okamoto &	2.5×104~4.7×	7	0
Sunabashiri(1992)	104		. 85

表 4-1 不同高寬比阻力係數結果

(資料來源本研究整理)

當模型更換為方柱模型進行相同雷諾數之受風力量測,其結果如圖 4-5所示。由圖上結果發現,在阻力高寬比為8時,在雷諾數較低時,平 均阻力係數約隨雷諾數遞增而遞減,但是在高雷諾數時,約為1.3。當模 型高度為4D時,其平均阻力係數約為1.1至1.3。



圖 4-5 方柱在不同雷諾數下平均阻力係數結果

風力模型造型區分為切角與圓角兩種,角隅裁切距離為0.2D、0.25D 及0.33D 等三種不同形式。圖4-6為切角0.33D 在高度為4D 與8D 兩種模 型在不同雷諾數下其阻力係數結果。由圖上可以發現,其阻力係數在模型 高度為4D 時,平均阻力係數約為0.65~0.7,當模型高度為8D 時,其阻 力係數約為0.7~0.75。



圖 4-6 切角為 0.3D 有限高柱體在不同雷諾數下平均阻力係數結果

當模型切角為 0.25D 時,利用六力平衡儀及相同雷諾數範圍進行相關 實驗,其結果如圖 4-7 所示。由圖上觀察可以發現,高度為 4D 時其阻力 係數約為 0.8,模型高度為 8D 時其阻力係數約為 0.85。



圖 4-7 切角為 0.25D 有限高柱體在不同雷諾數下平均阻力係數結果

當切角為 0. 2D 之有限高柱體模型進行相關受風力試驗,其結果如圖 4-8 所示。由圖上可以發現其阻力係數無論是高度為 4D 或是 8D 之模型皆 超過 1,相較於前兩個切角的模型阻力係數為大,可以初步推斷阻力係數 與切角距離有一定關係。



圖 4-8 切角為 0.2D 有限高柱體在不同雷諾數下平均阻力係數結果

當模型之角隅截角為圓弧時,其切角距離為 0. 2D、0. 25D 與 0. 33D 等三種模型,風洞入口風速使用與前述實驗之雷諾數相同範圍,其所得結 果如下所述。當切角為 0. 2D 之圓弧時,其平均阻力係數結果如圖 4-8 所 示。由圖上可以觀察出,於高度為 4D 模型其平均阻力係數約為 0. 8~ 0. 85。當模型高度為 8D 時,其平均阻力係數約為 0. 85~0. 9。



圖 4-9 截角距離 0.2D 之圓弧角隅有限高柱體在不同雷諾數下平均阻

#### 力係數結果

當模型截角距離改變為 0.25D 之圓弧時,其阻力係數與雷諾數結果如圖 4-10 所示。由圖上發現在阻力係數約為 0.8~0.86 之間,與截角距離 0.2 比較,可以發現其阻力係數有略微下降。



圖 4-10 截角距離 0.25D 之圓弧角隅有限高柱體在不同雷諾數下平均

# 阻力係數結果

當截角距離為 0.33D 時,其結果如圖 4-11 所示。由圖上發現,平均 阻力係數在高度為 4D 模型時約為 0.75~0.8,模型高度為 8D 時其平均阻 力係數約為 0.8~0.83,此結果為切角與圓弧角角隅造型之模型阻力係數 最低者。



圖 4-11 截角距離 0.33D 之圓弧角隅有限高柱體在不同雷諾數下平均

# 阻力係數結果

## 第四節 不同角隅外型之模型侧向力係數結果

三維鈍形體除了探討阻力係數外,另一個重點就是探討側向風力所造 成之影響。本研究將六力平衡儀所量測得到橫風向數據加以整理,其平均 側向力在不同模型及入口風速之結果如下所述。

當模型為高為 4D 與 6D 之方柱,改變雷諾數其所得到之平均側向力係 數如圖 4-12 所示。由圖上可以發現在模型高度 8D 時,其平均側向力係數 不超過 0.04,當模型高度為 4D 時其側向力係數較高,最大為 0.078。



**圖 4-12 方柱體在不同雷諾數下平均側向係數結果** (資料來源:本研究整理)

當模型改變為圓柱模型時,在相同入口風速範圍其側向係數結果如圖 4-13 所示。由圖上可以觀察得知最大平均側向力係數約為 0.06,當模型 高度較高或雷諾數較大時,其平均側向力係數都小於 0.04。



圖 4-13 方柱體在不同雷諾數下平均側向係數結果

當置換成高度為 4D 其切角距離分別為 0. 2D、0. 25D 及 0. 33D 模型時, 其平均阻力係數結果如圖 4-14 所示。由圖上可以觀察出其平均阻力係數 除了幾個點以外皆低於 0. 02,最大也不超過 0. 04。



圖 4-14 模型高度為 4D 於不同入口風速下不同切角距離模型之平均側

# 向力係數結果

當模型高度改變為 8D 時,在不同切角距離平均側向力係數與雷諾數 關係如圖 4-15 所示。由圖上觀察出其大部分實驗結果皆小於 0.02,其結果相對於模型高度 4D 時為低。



圖 4-15 模型高度為 8D 於不同入口風速下不同切角距離模型之平均

# 側向力係數結果

當模型切結為圓弧時,其模型高度為 4D 之平均側向力係數實驗結果 如圖 4-16 所示。由圖上結果可以發現,其平均側向力係數接不超過 0.02, 相對於切角不為圓弧時為低。



圖 4-16 模型高度為 4D 角隅切角為圓弧時側向力係數與切角距離關係

圖

當模型度改為 8D 時,在圓弧角隅造型下,不同切角距離之側向力係 數與雷諾數關係如圖 4-17 所示。由圖上發現其結果與 4D 圓弧角隅時接 近,最大側向力係數小於 0.02。



圖 4-17 模型高度為 8D 角隅切角為圓弧時側向力係數與切角距離關係

圖

另一方面影響模型之側向力因素主要有渦流溢放的影響,因此將有限 高度圓柱所得到之側向力進行快速傅力葉轉換,其所得之無因次化頻率結 果如表 4-2 所示。由結果上可以發現,本研究所得到之圓柱無因次化頻率 約為 0.151~0.156,整理相關文獻研究所得到之無因次化與高寬比圓柱 結果發現,本研究結果與文獻相近。

	Re	A. R.	St
Mario Jensch, et.	2*10^5	2	0.16
al (2009)			
D.Summer, et al	$6*10^{4}$	3~7	0.16
(2005)			
Sakamoto &	$6*10^{4}$	3	0.14
0iwake(1984)			
Sakamoto &	$6*10^{4}$	5	0.15
0iwake(1984)			
Sakamoto &	$6*10^{4}$	7	0.17
0iwake(1984)			
Okamoto &	2.5*10^4~4.7*10^4	7	0.17
Sunabashiri(1992)			
Present study	1.8*10^5	8	0.156
Present study	1.8*10^5	4	0.151

表 4-2 有限高度圆柱渦流溢放頻率結果整理

# 第五節 模型近地面油流實驗結果

利用有限高度圓柱與方柱模型進行近地面油流試驗的觀察,實驗之雷 諾數約為1.6×10<sup>5</sup>,實驗目的為觀察柱體後方尾流區域的大小差異,因為 尾流區域的不同會影響迎風面與背風面壓力差異,而阻力係數便會有所不 同。

圖 4-18 為方柱高度 4D 的近地面油流實驗結果,由圖上可以觀察出在 柱體背面之馬蹄渦所形成尾流區域約為



# 圖 4-18 高度 4D 之方柱油流實驗結果

圖 4-19 為模型高度 4D 圓柱近地面油流實驗結果,由圖上可以觀察到 在柱體後尾流區域大小約為 3D,以定性實驗上的結果就可以發現,方柱 與圓柱近地面馬蹄渦流場大小與型狀已有所差異,這是前一章節中阻力係 數在圓柱與方柱差異性的一個原因。



# 圖 4-19 高度 4D 圆柱近地面油流實驗結果

## 第六節 有限高方柱表面平均風壓分佈

本研究另一方面將採用壓力掃瞄閥針對模型表面風壓進行風壓分佈 的量測,目前採取壓力孔置於模型之一面,利用迴轉進行迎風面、背風面 及側面壓力分佈的量測,目前量測之模型為高度 4D 之方柱模型,設置之 孔位共有 76 孔位(如圖 4-20 所示)。



## 圖 4-20 高度 4D 方柱壓力孔位分佈圖

(資料來源:本研究整理)

壓力量測實驗之雷諾數為1.6×105,每一個壓力孔取樣數目為5000 點,壓力孔與壓力孔掃描間隔時間為10<sup>-3</sup>秒,將每一孔壓力數據取平均, 且求取 Cp 變化情形。所得之平均表面風壓分佈情形如圖 4-21~4-23 所示 所示,





(資料來源:本研究整理)



圖 4-22 4D 方柱迎風面壓力分佈結果

(資料來源:本研究整理)





(資料來源:本研究整理)

### 第七節 方柱模型侧向風力擾動係數實驗與規範之比較

風洞實驗模型中高寬比為4與8方柱模型,進行不同入口風速之側向 風力量測,本研究針對方柱側向擾動風力係數進行探討。由規範計算可得 知在高寬比4之方柱擾動風力係數為0.152,相同模型在不同風速下側向 擾動係數結果如圖4-24所示,由圖上觀察出擾動係數較風力規範值為 小,數據範圍在0.11~0.132之間。



圖 4-24 高寬比為 4 之方柱擾動係數結果

當模型置換成高寬比為8之方柱模型時,以相同之雷諾數範圍進行量 測,所得到結果如圖4-25所示,由圖上觀察出擾動係數範圍在 0.136~0.148。風力規範目前對此一高寬比尚無明確之相關建議,此一模 型較接近二維方柱體,因此擾動係數較4D高度模型為大。



圖 4-25 高寬比為 8 之方柱擾動係數結果
當模型置換成削角距離為 0.2D 切角模型,且模型高度為 4D 時,於雷諾數範圍下側向風力擾動係數與雷諾數關係如圖 4-26 所示,由圖上可以 觀察到其擾動係數約為 0.08~0.12,相對於高度 4D 之方柱模型其側向擾 動係數較低。



# 圖 4-26 高寬比為 4 削角距離 0.2D 之切角模型擾動係數結果

當模型高度增加至 8D 時,其截角距離 0.2D 之切角模型,在相同之雷 諾數範圍下吹試,其擾動係數的結果如圖 4-27 所示。由圖上可以觀察到, 側向擾動係數約為 0.12,相較於高寬比為 4 之相同切角距離模型為大, 且與高寬比為 8 支方柱模型比較時發現,其擾動係數平均約低了了 18%。



# 圖 4-27 高寬比為 8 削角距離 0.2D 之切角模型擾動係數結果

當模型截角距離增加為 0.33D 時,其高度為 4D 柱體模型側向擾動係 數與雷諾數關係如圖 4-28 所示。由圖上發現其側向擾動係數減少為 0.07,相較於截角距離為 0.2D 之相同高度切角模型低 25%。可以發現其 截角距離對擾動係數有一定程度上的影響。



# 圖 4-28 高寬比為 4 削角距離 0.2D 之切角模型擾動係數結果

當模型高度增加至 8D 時,其截角距離 0.33D 之切角模型,在相同之 雷諾數範圍下吹試,其擾動係數的結果如圖 4-29 所示。由圖上可以觀察 到,側向擾動係數約為 0.105,相較於高寬比為 4 之相同切角距離模型為 大,且與高寬比為 8 但切角距離 0.2D 模型比較時發現,其擾動係數約低 了 8%。



# 圖 4-29 高寬比為 8 削角距離 0.33D 之切角模型擾動係數結果

當模型切角為圓弧外型時,在截角距離為 0.33D 模型高度為 8D 時, 其側向擾動係數與雷諾數關係如圖 4-30 所示。由圖上發現其平均擾動係 數約為 0.095,交相同截角距離之切角模型略低 5%。



# 圖 4-30 高寬比為 8 削角距離 0.33D 之圓弧角隅模型擾動係數結果

其在相同切角距離(0.33D)角隅為圓弧外觀之模型,當模型高度降為4D時,其雷諾數與擾動係數的關係如圖4-31所示。由圖上可以發現其 平均側向力擾動係數約為0.067,相較於相同截角距離及高度之切角模型 時,發現其側向擾動係數差異約為3%。



# 圖 4-31 高寬比為 4 削角距離 0.33D 之圓弧角隅模型擾動係數結果

# 第五章 結論與建議

#### 第一節 結論

本研究在經由改變不同外型之風洞實驗後,經由數據分析及整理比較後 有下列數點的結論:

- (1)由受風力實驗結果發現,高寬比4方柱模型阻力係數約為1.1至1.3, 由規範計算得到阻力係數為1.36;高寬比為8之方柱,風力實驗之阻 力係數約為1.3~1.38,由規範計算得到阻力係數為1.43。因本研究 之實驗在均勻流場下進行,規範內是依據地況模擬之邊界層流所推測 之公式,相較之下規範內之結果偏向保守。
- (2)由高寬比為4之方柱側向擾動風力係數結果可以發現,風力規範內所 計算得到之數據為0.152,風洞實驗約為0.11~0.132,其間差距約 為6~20%,因此風力規範是經由不同地況資料所歸納分析的,本研 究實驗在均勻流場下進行,規範與實驗比較發現規範是相對較為保 守。
- (3)於削角距離較小時(0.2D)時,切角與圓弧角度模型之阻力係數相差 約為10%,以圓弧角之模型阻力係數較小。當截角距離較大(0.33D)時,兩種模型阻力係數比較後發現,其阻力係數約小6%。其主要原因為當削角距離較大時,兩種模型之外觀都較為接近圓柱,其阻力係數的差異也較小。
- (4)以目前風洞實驗阻力與側向力係數結果而言,在高寬比為4的模型在 相同實驗雷諾數條件下較高寬比為8時低,其主要原因為在高寬比為 8時,其柱體周圍流場型態表現接近2維,高寬比為4時,其模型周 圍流場3維性效應相對明顯,整個氣動力特性更為複雜。

(5)以目前風洞實驗數據量作為風力規範之修正尚嫌不足,只能以作為趨勢性的探討,當實驗數據資料有具備均勻流場、紊流場及邊界層流場時,可以進一步探討風力規範內的相關結果,並納入台灣地區風場資料進行修正建議。

#### 第二節 建議

1. 立即可行建議:

建立不同角隅外型模型之實驗數據資料庫,進行數據誤差及可靠度分 析。

主辦機關:內政部建築研究所

(1) 目前數據量尚嫌不足,因為不同外型之模型量較多,需要較多實驗數 據量進行分析。

(2) 目前只進行均勻流場量測,但實際流場狀況為紊流場狀態,可增加紊 流場及不同邊界層流場型態實驗數據。

2. 長期性建議:

建議增加台灣地區風場情況,並修正風力規範內相關資料。

主辦機關:內政部建築研究所

- 進行風場資料庫的累積與收集,並將風洞實驗所得到之數據資料進行
   比對及分析,並歸納出統計資料。
- (2) 針對風力規範內相關方程式進行比較與建議修正,使其更貼近台灣地區的風場資料。

# 參考書目

#### 英文部分

- Song, C. and Yuan, M. (1988), "A Weakly Compressible Flow Model and Rapid Convergence Method," ASME Journal of Fluids Engineering, Vol. 110, No. 4, pp.441-455.
- Germano, U., Piomelli, P. and Cabot, W.H. (1991), "A Dynamic Subgrid-scale Eddy Viscosity Model," Physics of Fluids, A(3), 1760-1765.
- MacCormack, R. (1969), "The Effect of Viscosity in Hyper-velocity Impact Cratering," AIAA paper No. 69-354, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington D.C.
- Sakamoto, H., Haniu, H. and Obata, Y. (1987), "Fluctuating Force Acting on Two Square Prisms in a Tandem Arrangement," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic, Vol. 26, pp. 85-113.
- Tutar, M. and Oguz, G. (2002), "Large Eddy Simulation of Wind Flow Around Parallel Buildings with Varying Configurations," Fluid Dynamics Research, Vol.31, pp. 289-315.
- Luo, S.C., Li, L.L. and Shah, D.A. (1999), "Aerodynamic Stability of the Downstream of Two Tandem Square-section Cylinders," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic., Vol. 79, pp. 79-103.
- Sun, T. F. and Gu, Z. F. (1995), "Interference Between Wind Loading on Group of Structure," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic., Vol. 54-55, pp. 213-225.
- Liu, C. H. and Chen, J. M. (2002), "Observations of hysteresis in flow around two square cylinders in a tandem arrangement," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic., Vol.90, pp. 1019-1050.
- Sarode, R. S., Gal, S. L. and Ramesh, C. K. (1981), "flow around circular- and square-section models of finite height in a turbulence shear flow," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic., Vol. 8, pp. 223-230.
- 10. Wang, P., Ko, N. and Chiu, A. (1993), "Flow characteristic of two square cyliders

of different size in side-by-side arrangement," 3<sup>rd</sup> Asia-pacific Symp on Wind Engineering., Hong Kong, pp. 593-599.

- Murakami, S. and Mochida, A. (1988), "3-d numerical simulation of air flow around a cubic model by means of the k- ε model," Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic., Vol. 31, pp. 283-303.
- Simu, E. and Scanlan, R. H. (1996), "Wind effect on structures", Wiley-Interscience, John Wiley and Sons, 3<sup>rd</sup> edition.
- H. Emre ILGIN, and M. Halis GÜNEL, "The Role of Aerodynamic Modifications in the Form of Tall Buildings Against Wind Excitation," *METU JFA* Vol. 24, No. 2, pp.17-25, 2007
- H. Kawai, "Effect of Corner Modifications on Aeroelastic Instabilities of Tall Buildings," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Vol. 74-76, pp.719-729, 1998.
- 15. J.A. Amin, and A.K. Ahuja, "Aerodynamic Modifications to the Shape of the Buildings: A Review of the State-Of-The-Art," *Asian Journal of Civil Engineering* (Building and Housing) Vol. 11, No. 4, pp.433-450, 2010.
- J.D. Holmes, "Effective Static Load Distributions in Wind Engineering," *Journal* of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics Vol. 90, No. 2, pp.91-109, 2002.
- K.T. Tse, P.A. Hitchcock, K.C.S. Kwok, S. Thepmongkorn, and C.M. Chan, "Economic Perspectives of Aerodynamic Treatments of Square Tall Buildings," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Vol. 97, No. 9-10, pp.455-467, 2009.
- Ryan Merrick, and Girma Bitsuamlak, "Shape Effects on the Wind-Induced Response of High-Rise Buildings," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Vol. 6, No. 2, pp.1-18, 2009.
- Tetsuro Tamura, Kojiro Nozawa, and Koji Kondo, "AIJ Guide for Numerical Prediction of Wind Loads on Buildings," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Vol. 96, No. 10-11, pp.1974-1984, 2008.
- 20. Tetsuro Tamura, and Tetsuya Miyagi, "The Effect of Turbulence on Aerodynamic Forces on a Square Cylinder with Various Corner Shapes," *Journal of Wind*

Engineering and Industrial Aerodynamics Vol. 83, No. 1-3, pp.135-145, 1999.

- 21. Yasushi Uematsu, and Motohiko Yamada, "Aerodynamic Forces on Circular Cylinders of Finite Height," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Vol. 51, No. 2, pp.249-265, 1994
- Yin Zhou., Tracy Kijewski, and Ahsan Kareem, "Aerodynamic Loads on Tall Buildings: Interactive Database," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 129, No. 3, pp. 394-404, 2003
- 23. Kobayasi, "鄰近圓柱群、正方形柱群之流場特性研究"(日文), 日本機械學會論 文集(第2部), 日本, pp. 1452-1461, 1976.

#### 中文部份

- 24. 蔡益超、陳瑞華、項維邦,『建築物耐風設計規範與解說(草案)』,內政部建築研究所編修,2004年
- 25. 內政部營建署,『建築耐風設計規範及解說』, 營建雜誌, 2006年
- 26. 鄭啟明、吳重成,『高層建築耐風設計風力頻譜與風載重之修訂研究』,內政 部建築研究所委託研究報告,2007年
- 27. 鄭啟明、陳瑞華,『建築物耐風設計風載重條文之修訂研究』,內政部建築研究所委託研究報告,2008年
- 28. 苗君易、陳子良,『建築風洞紊流場能力建立及應用』,內政部建築研究所協同研究報告,2009年

# 附錄一

# 期初風工程專家學者對本研究意見徵詢紀錄

專家姓名	提供之意見摘錄	
苗教授君易	<ol> <li>本研究最終目的為提供風力規範參考修正之用,針對實驗之數據分析宜累計足夠之相關數據,並進行誤差及可靠度分析,以增加實驗結果之可靠度。</li> </ol>	
蕭教授葆羲	<ol> <li>平滑曲面之角隅(如圓弧形狀),分離點位置與雷諾數 有關。然風洞模型試驗之雷諾數(10<sup>4</sup>~10<sup>5</sup>)常較實際情 況(10<sup>7</sup>~10<sup>9</sup>)低了2至3個量級(order),故其間之流場 恐有差異。(對具銳緣之建築,如矩柱,因分離點位於 轉角處,其間幾乎無差異。)據此,如何以風洞試驗之 流場結果詮釋實際情況,將會有些爭議。</li> <li>研究中柱體之高度取了6D與10D兩種情況,不知是基 於何種考慮?看起來兩種情況均屬細長結構。如果沒 有特殊考量,建議取4D(國內建築最常見者)與大於 7D(細長結構)兩種。</li> </ol>	
陳教授若華	<ol> <li>本研究採用的流場是邊界層流場或均勻紊流場?如採 用邊界層流場,模型高與邊界層厚度比將會增加研究 的工作份量,宜加以思考。</li> <li>分析方法應加以事先規劃,以確保實驗成果分析的可 靠性,如柱體側邊再接觸現象的界定如何做?渦流逸散</li> </ol>	

	是否以流場可視化進行,現行條件配合的狀況等。
3.	本研究採用三維方柱,風攻角為零時,屬間歇性再接
	觸流況,分析會較複雜,典型流況的捕捉要小心操作。

# 附錄二

內政部建築研究所100年度自行研究「風場通透樹木特性模式之建立 與應用(3/3)」、「門窗風雨試驗應用技術研究」、「行人風場評估準則 相關影響因子分析研究」、「建築物角隅設計對側向風壓與風載重影響 之研究」等4案期中審查會議紀錄

一、時間:100年8月10日(星期三)上午9時30分

- 二、地 點:本所簡報室
- 三、主持人:林建宏組長

記錄:蔡宜中、郭建源、黎益肇、李信宏

- 四、出席人員:如簽到單
- 五、主席致詞:(略)

六、執行單位簡報:(略)

審查委員	審查意見	回應
方教授富民	<ol> <li>本研究以風洞試驗探討單一矩形建 築物在不同截面(角隅改變)時結構 之受風效應,深具風力分析與設計 之參考價值。</li> <li>在均匀來流中獲得之測量結果和風 力規範之情況恐有不同,也許這是 兩者間有差異(第32頁)之原因。</li> </ol>	<ol> <li>1. 感謝委員的肯定。</li> <li>2. 研究將針對規範與 實驗的原因進行討 論。</li> </ol>
蕭教授葆羲	<ol> <li>1. 已完成模型之製作及風力 C<sub>D</sub>、C<sub>L</sub> 之量測。</li> <li>2. 實驗含不同角隅設計外型之風壓 及風載重,案例繁多,工作量龐 大。建議該研究案之風壓與風載重 之分析量測研究可分兩年執行。</li> </ol>	<ol> <li>感謝委員的肯定。</li> <li>本研究規劃風洞實驗工作量較大問題,本研究依工作量負荷,將以風力量測為主,並輔以表面風壓量作為驗證之用,至於詳細風壓量 測及數據分析如不能如期完成,將於明年度繼續進行。</li> </ol>

審查意見回應對照表

審查委員	審查意見	回應
朱佳仁教授	<ol> <li>建議將報告書中"昇力"改成"側向 力"(lateral force)。</li> <li>報告書中第 32 頁提及阻力係數為 何為負,請查明是否為誤植?</li> <li>鈍體的背風面風壓及阻力係數會 受到來流的紊流強度不同而有所 不同,故實驗結果會不同於規範 值,建議找其他來流流況相同的阻 力係數之參考文獻比較。</li> <li>報告書中第8頁中"similiary"有誤 請改為"similarity"</li> <li>報告書中第 30 頁所提及之方程式 未完整定義,如:β、h、L?而規 範中的所提及D。是否與文中D是相 同?</li> <li>₩<sup>12</sup> 為方柱或圖柱或兩側皆可的 "側向力"(昇力),方程式中提及 f。其定義為何應該文中說明清楚。</li> </ol>	將在後續報告書進行修 正。 報告書中繕打錯誤的部 分將會進行修正。 後續報告書將會將相關 文獻加入探討
謝建築師斌 森	<ol> <li>1. 間報頁科所提及个同角隅設計之 模型是否為文中所提及之角隅造 型種類,或者是包含其他不同造型</li> </ol>	<ol> <li>1. 本研究所使用之模 型為文中所提及 16</li> <li>種模型,其他角隅組</li> </ol>

審查委員	審查意見	回應
	模型。	合及建築物周圍植
	2. 建築物周圍有種植樹木的情況是	栽影響將不在本研
	否納入本研究之考量中。	究範圍內,將納入日
		後研究議題中考慮。
林組長建宏	1. 風洞實驗進度請確實掌握,並注意	1. 將依規定辦理
	報告繳交時間。	